

REC'D 14 APR 2005

WIPO

PCT



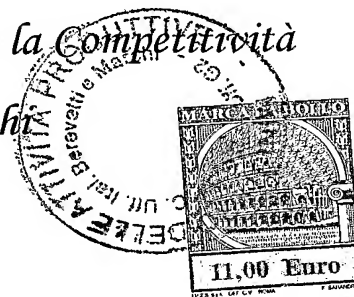
IB/04/04253

# Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

Ufficio G2



**Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:  
INVENZIONE INDUSTRIALE N. BA 2003 A 000066**

Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali  
depositati con la domanda di brevetto sopra specificata, i cui dati  
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

17 APR. 2005

IL FUNZIONARIO

*Paola Giuliano*

D.ssa Paola Giuliano

**MODULO A (1/2)**

AL MINISTERO DELLE ATTIVITA' PRODUTTIVE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI (U.I.B.M.)

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

BA2003A000066



**A. RICHIEDENTE/I**

COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1	I.N.F.M. ISTITUTO NAZIONALE PER LA FISICA DELLA MATERIA		
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2	PG	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3 02790810101
INDIRIZZO COMPLETO	A4	CORSO PERRONE N. 24 - 16152 GENOVA		
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1			
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2		COD. FISCALE PARTITA IVA	A3
INDIRIZZO COMPLETO	A4			
<b>A. RECAPITO OBBLIGATORIO IN MANCANZA DI MANDATARIO</b>	B0	(D = DOMICILIO ELETTIVO, R = RAPPRESENTANTE)		
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	B1			
INDIRIZZO	B2			
CAP/LOCALITÀ/PROVINCIA	B3			
<b>C. TITOLO</b>	C1	"SISTEMA OTTICO DI RIVELAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI PRODOTTI DI COMBUSTIONE"		

**D. INVENTORE/I DESIGNATO/I (DA INDICARE ANCHE SE L'INVENTORE COINCIDE CON IL RICHIEDENTE)**

COGNOME E NOME	D1	LAFORGIA DOMENICO
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	DE RISI ARTURO ANTONIO
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	DE VITTORIO MASSIMO
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	CINGOLANI ROBERTO
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA



**E. CLASSE PROPOSTA**

SEZIONE	CLASSE	SOTTOCLASSE	GRUPPO	SOTTOGRUPPO
E1	E2	E3	E4	E5

**F. PRIORITA'**

DERIVANTE DA PRECEDENTE DEPOSITO ESEGUITO ALL'ESTERO

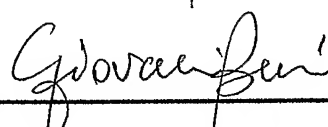
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
<b>G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA COLTURE DI MICROORGANISMI</b>	G1				
FIRMA DEL/DEI RICHIEDENTE/I					

**I. MANDATARIO DEL RICHIEDENTE PRESSO L'UIBM**

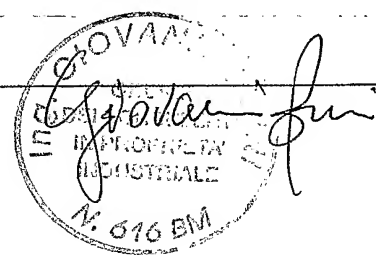
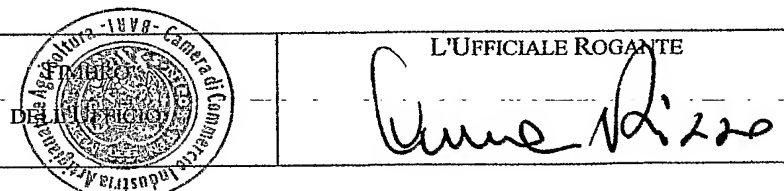
LA/E SOTTOINDICATA/E PERSONA/E HA/HANNO ASSUNTO IL MANDATO A RAPPRESENTARE IL TITOLARE DELLA PRESENTE DOMANDA INNANZI ALL'UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI CON L'INCARICO DI EFFETTUARE TUTTI GLI ATTI AD ESSA CONNESSI (DPR 20.10.1998 N. 403).

NUMERO ISCRIZIONE ALBO COGNOME E NOME;	<b>I1</b>	N. 616BM BRUNI GIOVANNI
DENOMINAZIONE STUDIO	<b>I2</b>	STIM ENGINEERING
INDIRIZZO	<b>I3</b>	VIA GARRUBA N. 3
CAP/LOCALITÀ/PROVINCIA	<b>I4</b>	70122 BARI
L. ANNOTAZIONI SPECIALI	<b>L1</b>	

**M. DOCUMENTAZIONE ALLEGATA O CON RISERVA DI PRESENTAZIONE**

TIPO DOCUMENTO	N. ES. ALL.	N. ES. RIS.	N. PAG. PER ESEMPLARE
PROSPETTO A, DESCRIZ., RIVENDICAZ. (OBBLIGATORI 2 ESEMPLARI)	SI	2	35
DISEGNI (OBBLIGATORI SE CITATI IN DESCRIZIONE, 2 ESEMPLARI)	SI	2	3
DESIGNAZIONE D'INVENTORE	SI	1	
DOCUMENTI DI PRIORITÀ CON TRADUZIONE IN ITALIANO	NO	0	
AUTORIZZAZIONE O ATTO DI CESSIONE	NO	0	
	(SI/NO)		
LETTERA D'INCARICO	SI		
PROCURA GENERALE	NO		
RIFERIMENTO A PROCURA GENERALE	NO		
	(LIRE/EURO)		IMPORTO VERSATO ESPRESSO IN LETTERE
ATTESTATI DI VERSAMENTO			DUECENTONOVANTUNO/80
FOGLIO AGGIUNTIVO PER I SEGUENTI PARAGRAFI (BARRARE I PRESCELTI) DEL PRESENTE ATTO SI CHIEDE COPIA AUTENTICA? (SI/NO)	A	D	F
SI CONCEDE ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO? (SI/NO)	SI		
	NO		
DATA DI COMPILAZIONE		11/12/2003	
FIRMA DEL/DEI RICHIEDENTE/I			

**VERBALE DI DEPOSITO**

NUMERO DI DOMANDA	BA2003A0000066 ✓		COD. 72
C.C.I.A.A. DI	Bari		
IN DATA	22 DIC 2003 ✓	IL/I RICHIEDENTE/I SOPRAINDICATO/I HA/HANNO PRESENTATO A ME	
LA PRESENTE DOMANDA CORREDATA DI N.		FOGLI AGGIUNTIVI PER LA CONCESSIONE DEL BREVETTO SOPRARIPORTATO.	
N. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIALE ROGANTE			
IL DEPOSITANTE	L'UFFICIALE ROGANTE		
			

## FOGLIO AGGIUNTIVO MODULO A

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE N° **BA2003A0000066**FOGLIO AGGIUNTIVO N. DI TOTALI: **A. RICHIEDENTE/I**

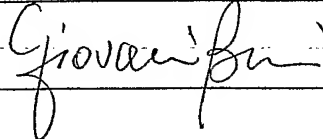
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1			
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3	
LOCALITÀ DI RESIDENZA/STATO	A4			
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1			
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3	
INDIRIZZO COMPLETO	A4			
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1			
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3	
INDIRIZZO COMPLETO	A4			

**D. INVENTORE/I DESIGNATO/I**

COGNOME E NOME	D1	PASSASEO ADRIANA
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	LOMASCOLO MAURO
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	

**F. PRIORITA'**

DERIVANTE DA PRECEDENTE DEPOSITO ESEGUITO ALL'ESTERO

STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
FIRMA DEL/DEI RICHIEDENTE/I					

**PROSPETTO MODULO A**  
**DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE**

NUMERO DI DOMANDA: **BA 2003A000066** DATA DI DEPOSITO: **22 DIC 2003**

**A. RICHIEDENTE/I** COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE, RESIDENZA O STATO

I.N.F.M. ISTITUTO NAZIONALE PER LA FISICA DELLA MATERIA

**C. TITOLO**

**"SISTEMA OTTICO DI RIVELAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI PRODOTTI DI COMBUSTIONE"**

SEZIONE

CLASSE

SOTTOCLASSE

GRUPPO

SOTTOGRUPPO

**E. CLASSE PROPOSTA**

**D. RIASSUNTO**

Sistema ottico di rivelazione della concentrazione di prodotti di combustione operante in situ ed ad alta temperatura basato sulla misura dell'assorbimento ottico della miscela gassosa, mediante un sensore fotorivelatore adoperante nitruro di gallio (GaN) nitruro di Alluminio (AlN), nitruro di Indio (InN) e relative leghe.

La temperatura di esercizio della parte sensibile è nel range tra 500°C-700°C, ma la resistenza del materiale attivo ne consente l'utilizzo a temperature anche superiori.

Tale sistema consente la misura della concentrazione di specie chimiche presenti nei prodotti di combustione direttamente alla loro uscita, dove l'alta temperatura di esercizio permette di evitare lo sporcamento del sensore a seguito di depositi carboniosi e non. La velocità di risposta del sistema è pari o inferiore a 1 millisecondo e consente l'adeguamento in tempo reale dei parametri del sistema di controllo del processo di combustione.

**P. DISEGNO PRINCIPALE**

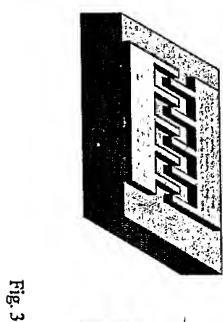


Fig. 3

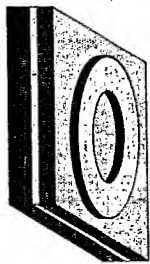


Fig. 2

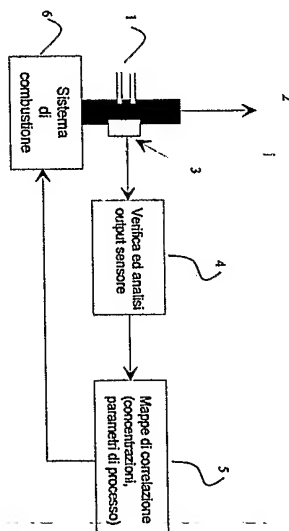


Fig. 1

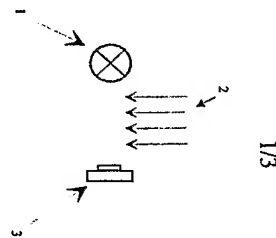
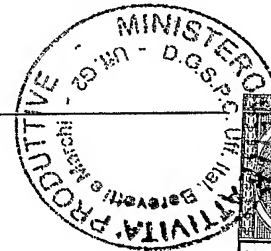


Fig. 1/3



FIRMA DEL/DEI

RICHIEDENTE/I

*Giovanni Ben*

BA2003A000066



Descrizione tecnica sintetica dell'invenzione industriale dal titolo:

**“Sistema ottico di rivelazione della concentrazione di prodotti di combustione”**

5 dell'I.N.F.M. Istituto Nazionale per la Fisica della Materia, di nazionalità italiana, a mezzo mandatario studio STIM Engineering ing. Giovanni BRUNI ed elettivamente domiciliato agli effetti di legge in Bari, Via Garruba n. 3.

Inventori designati: Prof. Domenico Laforgia, Ing. Arturo  
10 Antonio De Risi, Ing. Massimo De Vittorio, Prof. Roberto Cingolani, Dr. Adriana Passaseo, Dr. Mauro Lomascolo.

-----

Sistema ottico di rivelazione della concentrazione di prodotti di combustione operante in situ ed ad alta temperatura basato sulla  
15 misura dell'assorbimento ottico della miscela gassosa, mediante un sensore fotorivelatore adoperante nitruro di gallio (GaN) nitruro di Alluminio (AlN), nitruro di Indio (InN) e relative leghe. La temperatura di esercizio della parte sensibile è nel range tra 500°C-700°C, ma la resistenza del materiale attivo ne  
20 consente l'utilizzo a temperature anche superiori. Tale sistema consente la misura della concentrazione di specie chimiche presenti nei prodotti di combustione direttamente alla loro uscita, dove l'alta temperatura di esercizio permette di evitare lo sporcamento del sensore a seguito di depositi carboniosi e non.  
25 La velocità di risposta del sistema è pari o inferiore a 1



millisecondo e consente l'adeguamento in tempo reale dei  
parametri del sistema di controllo del processo di combustione.



Descrizione tecnica dell'invenzione industriale dal titolo:

**“Sistema ottico di rivelazione della concentrazione di prodotti di combustione”**

dell'I.N.F.M. Istituto Nazionale per la Fisica della Materia, di  
5 nazionalità italiana, a mezzo mandatario studio STIM  
Engineering ing. Giovanni BRUNI ed elettivamente domiciliato  
agli effetti di legge in Bari, Via Garruba n. 3.

Inventori designati: Prof. Domenico Laforgia, Ing. Arturo  
Antonio De Risi, Ing. Massimo De Vittorio, Prof. Roberto  
10 Cingolani, Dr. Adriana Passaseo, Dr. Mauro Lomascolo.

-----  
Forma oggetto del presente trovato un sistema ottico di  
rivelazione della concentrazione di prodotti di combustione  
operante in situ ed ad alta temperatura, basato sulla misura  
15 dell'assorbimento ottico della miscela gassosa, mediante un  
sensore utilizzante nitruro di gallio (GaN) nitruro di Alluminio  
(AlN), nitruro di Indio (InN) e relative leghe. Esso trova  
applicazione nei settori dell'automotive, nell'analisi di gas per  
impianti fissi e da laboratorio nonché nel monitoraggio  
20 ambientale (ad esempio, centraline per la rivelazione della  
qualità dell'aria urbana e impianti simili).

Il controllo on-line dei processi di combustione di un motore  
(diesel o benzina) è una esigenza molto sentita dal settore  
dell'automotive. La possibilità di controllo retroazionato e  
25 l'adeguamento in tempo reale dei parametri del processo di

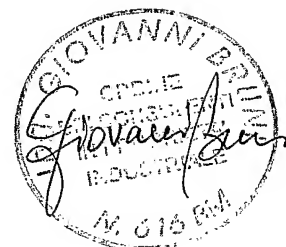




combustione ne permettono la completa ottimizzazione, anche in regime transitorio. Vengono di conseguenza ridotti sia il consumo di carburante sia le emissioni inquinanti residue, consentendo, inoltre, di compensare eventuali perdite di prestazioni di componenti dovute all'usura

Attualmente il controllo delle emissioni residue viene svolto in laboratorio/officina, dove si dispone di strumenti da banco che utilizzano per la rivelazioni dei gas NOx (principalmente NO e NO<sub>2</sub>), sensori basati sulla chemiluminescenza e sensori ad assorbimento nell'infrarosso per gli idrocarburi HC e per gli ossidi di carbonio CO, CO<sub>2</sub>. L'unico sensore in dotazione all'autoveicolo è la sonda lambda che consente il controllo on-line del solo ossigeno O<sub>2</sub>.

La tecnologia della fotorivelazione per la misura di concentrazione di specie gassose è già stata applicata con successo nella regione spettrale dell'infrarosso ed è basata su materiali quali silicio, germanio e derivati. Tuttavia questi materiali sono inadatti e poco resistenti alle alte temperature, che ne degradano le prestazioni e ne riducono drasticamente il tempo di vita. Il nitrato di gallio e i suoi composti, al contrario, sono materiali molto resistenti, particolarmente adatti a lavorare in ambienti aggressivi. Inoltre la banda proibita di energia, maggiore di 3 eV anche ad alte temperature, li rende insensibili alla radiazione visibile, adatti alla fabbricazione di dispositivi elettronici operanti nella regione spettrale dell'ultravioletto ed a





temperature anche superiori a 500°C, permettendo un miglioramento del rapporto segnale/rumore. La letteratura brevettale internazionale propone sensori a base di nitruro di gallio per la determinazione della concentrazione di specie chimiche; tali sensori sono, però, costituiti da un transistor nel quale la conducibilità del canale varia a seguito dell'adsorbimento della specie gassosa in esame e quindi basati su un diverso principio di funzionamento. Pertanto, hanno tempi di risposta di diversi ordini di grandezza superiori a quelli garantiti dal sensore ottico oggetto della presente invenzione. Ad esempio, nel brevetto tedesco DE10032062, è rivendicato un sensore a nitruro di gallio e suoi composti con struttura a transistor impiegato per la rivelazione di H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC e CO prodotti dalla combustione di un autoveicolo. La rivelazione dei gas avviene attraverso il monitoraggio delle caratteristiche elettriche del transistor provocate dall'adsorbimento di queste specie chimiche sulla superficie attiva del sensore. Poiché si tratta di un principio di misurazione diverso da quello ottico, i suoi tempi di risposta sono dell'ordine del secondo.

Riassumendo, i principali svantaggi delle applicazioni già note sono costituiti dal fatto che la realizzazione di un sistema di controllo immediato e in-situ per le emissioni residue di gas NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e HC è ostacolata dal lento tempo di risposta, dell'ordine dei secondi, di sensori basati sull'adsorbimento di queste specie gassose da parte del materiale attivo. Gli attuali



sensori ottici non possono essere utilizzati ad elevate temperature, rendendo così inevitabile lo sporcamento del sensore a causa del deposito di residui carboniosi e non sulla superficie sensibile del detector. La rilevazione ex-situ e i lunghi  
5 tempi di risposta non permettono il controllo in tempo reale dei parametri di controllo del processo di combustione.

Il trovato oggetto della presente invenzione risolve i problemi tecnici sopra menzionati in quanto trattasi di un sistema ottico di rivelazione della concentrazione dei prodotti di combustione,  
10 comprendente un dispositivo fotorivelatore, di seguito anche chiamato sensore ottico, ed una sorgente di radiazione ultravioletta e visibile, caratterizzato dal fatto che detto sensore ottico impiega come materiale attivo nitruro di gallio (GaN) nitruro di Alluminio (AlN), nitruro di Indio (InN) e relative  
15 leghe. La rivelazione ottica delle specie gassose permette un notevole abbattimento del tempo di risposta del sensore, ora dell'ordine del millisecondo, mentre l'impiego di nitruro di gallio e suoi derivati consente di realizzare un materiale attivo selettivo, resistente alle alte temperature e agli ambienti  
20 aggressivi, adatto a lavorare nella regione spettrale dell'ultravioletto e nelle sue vicinanze, grazie alla possibilità di modulare la sua banda energetica proibita. I gas prodotti dalla combustione nell'attraversare la regione tra la sorgente di ultravioletto e il sensore/detector variano lo spettro di emissione  
25 della sorgente - per un effetto combinato di assorbimento ed



emissione da parte delle specie gassose - e consente la misura delle concentrazioni delle specie presenti. I principali vantaggi che l'invenzione può comportare in campo automotive sono il controllo retroazionato e in tempo reale dei parametri di combustione e dei sistemi di abbattimento delle emissioni anche nel caso di motori usurati o non funzionanti in maniera regolare e, come conseguenza, l'abbassamento delle emissioni degli agenti inquinanti e il miglioramento delle prestazioni in condizioni di transitorio.

Questi ed altri vantaggi appariranno nel corso della descrizione dettagliata dell'invenzione che farà riferimento specifico alle tavole 1/3, 2/3 e 3/3 nelle quali si rappresentano alcuni schemi realizzativi preferenziali del tutto esemplificativi e non limitativi. In particolare:

- la figura 1 rappresenta uno schema del sistema ottico di rivelazione secondo la presente invenzione;
- la figura 2 mostra lo schema del controllo retroazionato basato sul sistema ottico di rivelazione secondo l'invenzione;
- la figura 3 rappresenta due tipologie di eterostrutture del dispositivo fotorivelatore secondo l'invenzione, la prima con contatti co-planari metallo-semiconduttore-metallo e la seconda con struttura p-i-n;
- la figura 4 mostra due possibili strutture del dispositivo fotorivelatore a cristallo fotonico.
- la figura 5 è uno schema di applicazione del sistema ottico di



rivelazione al sistema di scarico di un propulsore a combustione interna;

- la figura 6 mostra un dispositivo fotorivelatore del tipo a matrice relativo all'applicazione di figura 5;
- 5 • la figura 7, infine, è uno schema di applicazione del sistema ottico di rivelazione ad un motore 2 tempi ad accensione per compressione.

Con riferimento alla figura 1, lo schema del sistema proposto comprende una sorgente ottica (1) operante nella regione  
10 spettrale tra il blu e l'ultravioletto costituita, ad esempio e a titolo puramente esemplificativo e non limitativo, da un arco tra due elettrodi affacciati nel gas che si vuole analizzare, che illumina in modo diretto il sensore ottico. Le molecole del gas o delle miscele di gas (2), derivanti dal processo di combustione  
15 che si vuole analizzare, fluiscono attraverso gli elettrodi e nella regione tra sorgente ed il sensore ottico, generando una variazione dello spettro emesso dall'arco per effetto combinato di assorbimento ed emissione delle specie gassose. Dallo spettro rivelato dal sensore ottico (3) è possibile ricavare la  
20 concentrazione delle specie presenti nei gas di combustione. La risposta del sensore è utilizzata per controllare i parametri del sistema di combustione in un sistema retroazionato ad anello chiuso.

La risposta del sensore può essere utilizzata come in figura 2,  
25 riportata a puro titolo di esemplificativo e non limitativo.





L'output del sensore (3) è dapprima verificato (4); quindi, è utilizzato come input nella funzione che fornisce la concentrazione della specie investigata. Tale dato è utilizzato all'interno di apposite mappe (5) per ottenere in uscita i  
5 parametri correttivi di gestione del sistema (6) in configurazione retroazionata.

Tale configurazione, avente tempi di risposta pari o inferiori al millisecondo, consente l'adeguamento in tempo reale dei parametri del sistema di controllo del processo di combustione.  
10 L'effetto di questo controllo retroazionato in applicazioni di tipo motoristico consente un controllo quasi-istantaneo dei parametri di controllo della combustione (pressione di iniezione, portata, anticipo e durata di iniezione, numero di iniezioni, ecc...) e dei sistemi di abbattimento dell'emissione (quantità di agente  
15 catalizzante, strategie di rigenerazione, ecc...), la possibilità di modificare i parametri di gestione motore in modo ottimale anche in sistemi usurati o non funzionanti in modo regolare, l'abbassamento delle emissioni degli agenti inquinanti, il miglioramento delle prestazioni in condizioni di transitorio.  
20 Altri campi di applicazione sono gli analizzatori di gas sia per impianti fissi che da laboratorio.

Il sensore ottico (3) costituisce il cuore del sistema di rivelazione. Il sensore è costituito da nitruro di gallio (GaN) e/o nitruro di Alluminio (AlN) e/o nitruro di Indio (InN) o relative  
25 leghe, e viene realizzato su substrato di zaffiro ( $Al_2O_3$ ) o



carburo di silicio (SiC) o di silicio tramite tecnica di crescita epitassiale . Le proprietà meccaniche e fisiche dei materiali che lo costituiscono ne consentono l'utilizzo a temperature elevatissime e lo rendono compatibile con ambienti particolarmente aggressivi quali quelli presenti nei condotti di scarico dei gas combustibili, dove si ha la simultanea presenza di alte temperature e pressioni, polveri, ambienti acidi, ecc. Inoltre, la banda di energia proibita, pari ad oltre 3 eV ad alta temperatura, dei composti a base di nitruri di gallio li rende trasparenti alla radiazione visibile ed infrarossa migliorando il rapporto segnale rumore nella rivelazione di segnali nell'ultravioletto. Tale caratteristica è sfruttata nella presente invenzione per la realizzazione di sensori ottici operanti nella regione spettrale dell'UV.

La discriminazione spettrale delle diverse righe di assorbimento e quindi dei gas può essere realizzata in modi diversi ed in particolare:

- variando il materiale attivo per incrementare o ridurre selettivamente l'assorbimento in determinate regioni spettrali con lunghezze d'onda comprese tra 200nm e 500 nm (l'assorbimento dei composti a base nitruri può essere variato con continuità tra 200 nm e 500 nm tramite la formazione di leghe tra AlN e GaN o tra GaN e InN);
- mediante ingegnerizzazione elettronica della struttura a bande del dispositivo, ovvero alternando strati sottili di



materiale diverso in modo da formare pozzi quantici;

- mediante ingegnerizzazione fotonica della struttura a bande, ovvero permettendo solo determinate transizioni fotoniche attraverso la realizzazione di microrisonatori ottici a cristallo fotonico.

Nel primo caso la possibilità di realizzare eterostrutture di nitruro di gallio (GaN) nitruro di Alluminio (AlN), nitruro di Indio (InN) e relative leghe, mediante deposizione epitassiale con controllo preciso del numero di piani reticolari e della composizione del composto, consente la realizzazione di nanostrutture a confinamento quantistico, dove la banda di assorbimento può essere ridotta a qualche decina di Å e sintonizzata a piacere nella regione dell'ultravioletto mediante il controllo dello spessore e della composizione della lega a più bassa energia proibita (ad esempio GaN) compresa tra due barriere ad alta energia proibita (ad esempio AlGaN). Inoltre, la deposizione di leghe di AlGaN a diverso contenuto di alluminio, permette lo spostamento dell'energia della banda proibita dal blu al profondo UV, mentre la deposizione di leghe di InGaN a diverso contenuto di indio permette la riduzione dell'energia della banda proibita e, quindi, l'estensione della banda spettrale di assorbimento al visibile (verde e giallo). Per esempio, per la rivelazione di NO, di cui una delle righe spettrali più intense è alla lunghezza d'onda di 338.64 nm, il sensore ottico è realizzato





attraverso un materiale fotosensibile ad una banda spettrale  
comprendente tale lunghezza d'onda e/o attraverso  
l'inserimento di tale materiale in una struttura che elimini  
tutte le componenti spettrali eccetto quella a 338.64 nm  
5 (microcavità, filtri multistrato, etc...).

Possibili strutture costituenti il sensore ottico sono elencate di  
seguito:

- GaN (nitruro di gallio massivo), per la rivelazione di righe  
spettrali con lunghezza d'onda maggiori o uguali a 360  
10 nm;
- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (nitruro di gallio alluminio),  $0 \leq x \leq 1$ ; per la  
rivelazione di righe spettrali con lunghezza d'onda  
maggiori o uguali a 206 nm; al variare  $x$  il valore della  
lunghezza d'onda varia tra 206 nm e 360 nm;
- 15 •  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (nitruro di gallio indio),  $0 \leq x \leq 1$ ; per la  
rivelazione di righe spettrali con lunghezza d'onda  
maggiore o uguale a 360 nm, al variare  $x$  il valore della  
lunghezza d'onda varia tra 360 nm e 500 nm
- pozzi quantici multipli di GaN/AlGa<sub>N</sub>, InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>.

20 Esempi di realizzazione del sensore ottico, forniti a scopo  
esemplificativo e non limitativo, sono riportati di seguito.

Esempio 1: Realizzazione del sensore con struttura GaN  
massivo.

Il materiale fotosensibile viene sintetizzato tramite  
25 crescita epitassiale da fase vapore. Prima della crescita, il





substrato di zaffiro (o SiC o Si) subisce un trattamento termico alla temperatura di 1100 °C in flusso di idrogeno (H<sub>2</sub>) ed alla pressione di 20 mBar per un tempo minimo di 15 minuti. Successivamente la temperatura del reattore viene portata a 560 °C e la pressione a 450 mbar per la crescita dello strato di nucleazione di GaN con spessore compreso tra 20 nm e 200 nm, che viene effettuata in ambiente N<sub>2</sub>, immettendo nel reattore flussi controllati dei precursori di crescita (ammoniaca gassosa (NH<sub>3</sub>) e trimetilgallio (TMGa)). La composizione (GaN o AlN o AlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>), le condizioni di crescita (temperatura e pressione) e lo spessore dello strato di nucleazione possono variare in funzione del substrato utilizzato. Lo strato di nucleazione subisce un ulteriore trattamento di annealing termico che viene effettuato alla temperatura di 1100 °C in ambiente N<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub>. Successivamente, alla temperatura di 1150 °C ed alla pressione di 50 mBar viene depositato il GaN (materiale fotosensibile) in ambiente H<sub>2</sub> con velocità di deposizione di 2 µm/h, immettendo flussi controllati di NH<sub>3</sub> e TMGa.

Sulla struttura epitassiale sono poi realizzati i contatti interdigitati tramite processi fotolitografici standard e deposizione dei contatti metallici (per esempio di alluminio) tramite evaporazione termica e/o da fascio elettronico.

Esempio 2: Realizzazione del sensore con struttura Al(Ga)N massivo

La realizzazione viene effettuata come nell'esempio 1 con



l'unica differenza che per la realizzazione del materiale fotosensibile (AlGa<sub>N</sub>) ai flussi immessi viene aggiunto un flusso di trimetilalluminio (TMAI) e la temperatura di crescita può essere elevata fino a 1180 °C.

5    Esempio 3: Realizzazione del sensore con struttura In(Ga)<sub>N</sub> massivo

La realizzazione viene effettuata come nell'esempio 1 con l'unica differenza che per la realizzazione del materiale fotosensibile (InGa<sub>N</sub>) ai flussi immessi viene aggiunto un flusso  
10    di trimetilindio (TMIn), la temperatura di crescita può essere ridotta (fino a 720 °C) e la crescita può avvenire in ambiente azoto

Esempio 4: Realizzazione del sensore con struttura a pozzi quantici multipli.

15    La realizzazione viene effettuata come nell'esempio 1 con l'unica differenza che per la realizzazione del materiale fotosensibile viene utilizzata la seguente sequenza:

1. crescita di uno strato buffer di Ga<sub>N</sub> come da esempio 1 con spessore minimo di 1 µm
- 20    2. crescita della barriera di Al(Ga)<sub>N</sub> come da esempio 2 con spessore minimo di 10 nm.
3. crescita del pozzo quantico di Ga<sub>N</sub> come da esempio 1 con spessore dipendente dalla riga spettrale da rivelare e dal contenuto di Al nella barriera Ad esempio per la  
25    rivelazione della riga a 338.64 nm dell'NO lo spessore del

pozzo quantico sarà di 1.9 nm per contenuto di alluminio della barriera di AlGa<sub>N</sub> pari al 18%.

4. ripetizione dei passi 2 e 3 per il numero di volte pari al numero di pozzi quantici necessari ad ottenere il grado di  
5      responsività del sensore ottico desiderata

La sequenza illustrata è utilizzata per la crescita di pozzi quantici costituiti da strati di GaN/Al(Ga)N. Nel caso di pozzi quantici di In(Ga)N/GaN il passo 3 consiste nella crescita di InGa<sub>N</sub> come da esempio 3.

10

Nel caso delle strutture a pozzi quantici multipli, il controllo preciso dello spessore e composizione degli strati consente di variare la banda di assorbimento rendendo possibile la discriminazione delle righe di assorbimento dei vari gas. Ogni  
15      tipologia di eterostruttura è, quindi, utilizzabile per la rivelazione di una o più specie gassose.

Due possibili tipologie di sensore ottico, aventi come materiale fotosensibile le eterostrutture già descritte, sono illustrate in figura 3. La figura 3a mostra una struttura con contatti co-planari metallo-semiconduttore-metallo. La rilevazione della corrente  
20      elettrica fotogenerata avviene mediante l'applicazione di una tensione tra i due contatti interdigitati. In questo caso il materiale attivo è prossimo alla superficie del campione. La figura 3b mostra, invece, una tipologia di sensore ottico a struttura p-i-n.  
25      In questo caso il trasporto è verticale fra due contatti posti



rispettivamente sulla superficie e sul substrato. In entrambi i casi in figura 3, la luce incide sul dispositivo e viene assorbita all'interno del materiale attivo generando coppie elettrone-lacuna che sono raccolte sotto forma di corrente elettrica  
5 attraverso due contatti metallici depositati sul dispositivo.

Mediante ingegnerizzazione fotonica della struttura a bande, invece, è possibile utilizzare un materiale attivo con ampia banda spettrale di responsività su cui selezionare a posteriori una piccola regione spettrale. A questo scopo il materiale  
10 fotosensibile viene inserito in dispositivi a microcavità a cristallo fotonico allo scopo di modificare la densità degli stati fotonici nel dispositivo e permettere transizioni ottiche di assorbimento soltanto alle lunghezze d'onda di interesse. La selezione dei modi fotonici permessi avverrà mediante la tecnologia a cristallo  
15 fotonico, che consente il controllo dei modi elettromagnetici permessi in un mezzo ad indice di rifrazione periodico. La scelta opportuna della periodicità (dell'ordine di una frazione di lunghezza d'onda) in determinate direzioni in un cristallo fotonico permette, tramite riflessioni multiple, l'interferenza  
20 costruttiva della lunghezza d'onda di progetto, che vien fatta coincidere con la riga di assorbimento/emissione del gas analizzato. Due possibili strutture per il dispositivo a cristallo fotonico sono illustrate in figura 4. La figura 4a mostra l'immagine a microscopio elettronico di un dispositivo a cavità  
25 verticale per la selezione di una singola riga di assorbimento





atomico. Tale dispositivo ha il vantaggio di poter essere realizzato direttamente durante la fase di crescita epitassiale. Il risonatore in questo caso è costituito dalla regione centrale del dispositivo, indicata come guida d'onda e contenente il materiale  
5 assorbente, inserita tra due riflettori alla Bragg. Tutta la luce incidente sul risonatore è riflessa, a causa delle riflessioni multiple alle interfacce, ad eccezione di una stretta banda di lunghezze d'onda (chiamata frequenza di risonanza della cavità) permessa nella guida d'onda che dipende dal suo spessore e  
10 dall'indice di rifrazione del materiale fotosensibile. Tali strutture multistrato realizzano dei cristalli fotonici monodimensionali (strutture dove la periodicità dell'indice di rifrazione è lungo una sola dimensione). Lo spessore e l'indice di rifrazione della guida d'onda determina il numero e la posizione spettrale dei modi  
15 longitudinali permessi nel dispositivo.

Ad esempio (esempio 5), per la riga spettrale a 338.64 nm, identificativa del gas NO, la struttura descritta viene realizzata tramite crescita epitassiale da fase vapore come descritto precedentemente nell'esempio 1 con l'unica differenza che per la  
20 realizzazione del materiale fotosensibile viene utilizzata la seguente sequenza:

1. crescita di uno strato buffer di GaN come da esempio 1 con spessore minimo di 1  $\mu\text{m}$
2. crescita dello strato a basso indice di rifrazione (AlN)

25 come da esempio 2 di spessore pari a  $\lambda/4n\text{AlN}$ , dove  $\lambda$  è



la lunghezza d'onda di progetto (338.64 nm) e  $n_{\text{AlN}}$  è l'indice di rifrazione dell'AlN a 338.64 nm che è pari a circa 2.09. Nel caso in esempio lo spessore risulta dunque pari a 40.5 nm.

5 3. crescita dello strato ad alto indice di rifrazione (GaN) come da esempio 2 di spessore pari a  $\lambda/4n_{\text{GaN}}$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda di progetto (338.64 nm) e  $n_{\text{GaN}}$  è l'indice di rifrazione del GaN a 338.64 nm che è pari a circa 2.53. Nel caso in esempio lo spessore risulta dunque  
10 pari a 33.5 nm.

4. ripetizione dei passi 2 e 3 per il numero di coppie di strati a diverso indice di rifrazione necessario.

5. Crescita della cavità risonante (GaN) di spessore pari a  $\lambda/n_{\text{GaN}}$ , o ad un multiplo intero di  $\lambda/2n_{\text{GaN}}$ , dove  $\lambda$  è la  
15 lunghezza d'onda di progetto (338.64 nm) e  $n_{\text{GaN}}$  è l'indice di rifrazione del GaN a 338.64 nm che è pari a circa 2.53. Nel caso in esempio lo spessore  $\lambda/n_{\text{GaN}}$  risulta dunque pari a 133.8 nm.

6. ripetizione dei passi 2 e 3 per il numero di periodi  
20 necessario.

La figura 4b mostra una immagine al microscopio elettronico di un altro esempio di struttura del sensore ottico basata su cristalli fotonici bidimensionali. In questo caso attraverso processi tecnologici ad alta risoluzione successivi alla crescita epitassiale

25 si realizza una periodicità di indice di rifrazione nel piano del



materiale fotosensibile (nell'esempio in figura sono realizzati fori d'aria periodici nel mezzo fotosensibile). L'inserimento di un "difetto" nel cristallo fotonico, quale ad esempio l'assenza di un foro come in figura, costituisce una microcavità le cui  
5 proprietà ottiche, ovvero le lunghezze d'onda permesse, sono determinate dai parametri geometrici della struttura. Il vantaggio di questa struttura è, quindi, di poter realizzare sullo stesso substrato dispositivi sensibili a radiazioni di lunghezza d'onda differente semplicemente variando la periodicità ed il diametro  
10 del cristallo fotonico e la tipologia del "difetto" [ J. D. Joannopoulos, R.D.Meade, and J.N.Winn, "Photonic Crystals: Molding the Flow of the Light", Princeton University Press, (1995). ].

In questo caso (esempio 6) il sensore viene realizzato utilizzando  
15 strutture come descritte negli esempi 1, 2, 3 e 4 (escludendo la deposizione degli elettrodi) sulle quali vengono effettuati i seguenti passi tecnologici:

1. deposizione di resist (per esempio PMMA)
- 20 2. realizzazione del pattern del cristallo fotonico per scrittura diretta tramite litografia da fascio elettronico e/o ottica ad alta risoluzione.
3. Trasferimento del pattern per la realizzazione di una matrice di fori nel materiale (o di colonne) con periodicità e diametro dipendenti dalla riga spettrale da rilevare





tramite attacco fisico-chimico selettivo (RIE).

La funzione di selezione ottica può, inoltre, essere realizzata mediante la deposizione di multistrati dielettrici, successivamente alla crescita epitassiale del materiale attivo.

- 5 L'alternarsi di strati trasparenti a diverso indice di rifrazione (ad. es.  $\text{TiO}_2$  a  $\text{SiO}_2$ ) permette la realizzazione di funzioni passabanda o notch, ovvero la trasmissione o attenuazione di una stretta banda spettrale, selezionando, tramite riflessioni multiple, le lunghezze d'onda che possono essere trasmesse o attenuate.
- 10 L'utilizzo del  $\text{TiO}_2$ , in presenza di radiazione UV, ha inoltre il vantaggio di catalizzare il degrado dei materiali organici non ossidati alle alte temperature di esercizio del sensore evitando il suo sporcamento.

- Una combinazione delle due precedenti tecnologie
- 15 (contemporanea ingegnerizzazione delle strutture a bande elettroniche e fotoniche) consente la rivelazione di transizioni molto strette anche ad alte temperature. Un esempio di integrazione delle due tecniche può essere costituito dall'inserimento di pozzi quantici entro una microcavità ottica
- 20 operanti alla stessa lunghezza d'onda (riga spettrale del gas di interesse).

Infine, è da evidenziare che in un'ulteriore forma di realizzazione del sistema ottico rivelatore, il dispositivo fotorivelatore può essere formato da una matrice di sensori ottici

- 25 collegati fra loro affinché essi risultino pilotabili





indipendentemente ed operanti a diverse frequenze spettrali. Ad esempio, l'array di sensori può essere formato da 5 elementi indipendenti costituiti da strutture realizzate come in esempio 4, in cui gli spessori e/o la composizione degli strati dei pozzi  
5 quantici sono stati calcolati per rivelare una singola riga spettrale identificativa del CO nell'elemento 1, del CO<sub>2</sub> nell'elemento 2, del NO nell'elemento 3, del NO<sub>2</sub> nell'elemento 4 e del O<sub>2</sub> nell'elemento 5 (vedi figura 6). In alternativa, i singoli elementi dell'array possono essere costituiti da strutture  
10 realizzate come in esempio 5, in cui gli spessori degli strati riflettenti e della cavità risonante sono stati calcolati per rivelare una singola riga spettrale identificativa del gas da rivelare.

In entrambi i casi il segnale proveniente dai singoli sensori viene comparato ad un segnale di riferimento ed utilizzato nel sistema  
15 di retroazione per la correzione in tempo reale dei parametri di combustione, come descritto negli esempi riportati di seguito relativi ad alcuni campi di applicazione nel settore automotive.

Esempio 7: Esempio di applicazione in campo automobilistico

- Il sistema ottico di rivelazione è montato sui condotti di  
20 scarico a monte del sistema di sovralimentazione (ove presente) e comunque il più vicino possibile allo scarico del propulsore. Schematicamente tale dispositivo è rappresentato in fig. 5 da un cerchio bianco (11) all'interno di un autoveicolo (12) che esploso mostra un  
25 possibile layout del sistema emettitore-sensore.



- Il dispositivo fotorivelatore è del tipo a matrice e comprende un array di singoli sensori ottici ciascuno in grado di rivelare una singola lunghezza d'onda (o una stretta banda spettrale) che identifica in modo univoco una determinata specie gassosa presente nel gas di scarico. A titolo puramente esemplificativo e non esaustivo, si può utilizzare una matrice (13), illustrata in fig. 6, di 5 dispositivi, ciascuno dei quali rileva in modo indipendente dagli altri la concentrazione di uno dei seguenti 5 gas: CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>. I dispositivi sono realizzati come descritto negli esempi 7 ed 8, o secondo una o più delle tecniche di selezione spettrale già descritte.
- Una lampada ad arco, posizionata frontalmente all'area sensibile dei sensori, eccita localmente il gas in transito tra sensore e lampada provocando l'emissione delle righe spettrali identificative delle specie gassose presenti.
- L'array di sensori rivela l'intensità delle specifiche righe spettrali mediante un segnale elettrico. Il segnale di uscita da ciascuno dei dispositivi è tipicamente una corrente fotogenerata di intensità proporzionale alla concentrazione della specie per il cui il singolo sensore è stato progettato.
- Il segnale è filtrato e condizionato in modo da poter essere utilizzato come input del sistema di controllo retroazionato (fig. 2) per il controllo dei parametri di processo, ovvero ad esempio il numero di iniezioni e le modalità di



iniezione del combustibile.

Esempio 8: esempio di applicazione nei motori a due tempi a iniezione.

Con riferimento allo schema di figura 7, si può notare che, a  
5 differenza dei motori quattro tempi, a causa del diretto collegamento fra aspirazione (15) e scarico (2) durante la fase di lavaggio, nei motori due tempi la misura della portata d'aria in ingresso al motore non coincide con il quantitativo d'aria effettivamente a disposizione per la combustione.

- 10 • Il sensore è progettato per essere sensibile al tenore di ossigeno ed è realizzato secondo uno degli esempi realizzativi precedenti.
- Il sensore è in contatto termico con un riscaldatore (ad es. a resistenza) che ha la funzione di portare velocemente e  
15 mantenere elevata la temperatura del dispositivo (ad alcune centinaia di gradi centigradi) per favorire la decomposizione dei residui incombusti e così evitare la deposizione di residui carboniosi e non.
- Un segnale elettrico in uscita dal sensore permette in  
20 tempo reale di ricavare il tenore di ossigeno nei gas combusti e quindi di calcolare con precisione la quantità di aria intrappolata nel cilindro.
- Il segnale è filtrato e condizionato in modo da poter essere  
25 utilizzato come input del sistema di controllo retroazionato (fig. 2) per il controllo dei parametri di iniezione.



Tale pratica non può essere attuata allo stato attuale delle conoscenze in quanto gli attuali sensori non permettono la misura del tenore di ossigeno con tempi di risposta sufficientemente veloci per una simile applicazione.

5





## RIVENDICAZIONI

- 1) Sistema ottico di rivelazione della concentrazione di specie gassose, comprendente almeno una sorgente di radiazione ultravioletta e/o visibile, costituita, ad esempio, da un arco tra due elettrodi affacciati nel gas o miscele gassose da analizzare, che illumina in modo diretto un dispositivo fotorivelatore, detto anche sensore ottico, in grado di ricavare la concentrazione delle specie presenti nei gas per mezzo della variazione dello spettro emesso da detto arco per effetto combinato di assorbimento ed emissione delle specie gassose, comprendente, inoltre, un sistema retroazionato ad anello chiuso che controlla i parametri del sistema elaborando la risposta fornita dal sensore ottico, caratterizzato dal fatto che detto sensore ottico impiega come materiale attivo nitruro di gallio (GaN) nitruro di Alluminio (AlN), nitruro di Indio (InN) e relative leghe ed è realizzato su substrato di zaffiro ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o carburo di silicio (SiC) o di silicio tramite tecnica di crescita epitassiale.
- 2) Sistema ottico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la discriminazione spettrale delle diverse righe di assorbimento è realizzata variando il materiale attivo per incrementare o ridurre selettivamente l'assorbimento in determinate regioni spettrali con lunghezze d'onda comprese tra 200 nm e 500 nm.



- 3) Sistema ottico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la discriminazione spettrale delle diverse righe di assorbimento è realizzata mediante ingegnerizzazione elettronica della struttura a bande del dispositivo, ovvero alternando strati sottili di materiale diverso in modo da formare pozzi quantici.
- 4) Sistema ottico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la discriminazione spettrale delle diverse righe di assorbimento è realizzata mediante ingegnerizzazione fotonica della struttura a bande, ovvero permettendo solo determinate transizioni fotoniche attraverso la realizzazione di microrisonatori ottici a cristallo fotonico.
- 5) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che la struttura costituente il sensore ottico è GaN (nitruro di gallio massivo), per la rivelazione di righe spettrali con lunghezza d'onda maggiori o uguali a 360 nm.
- 6) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni da 1 a 4, caratterizzato dal fatto che la struttura costituente il sensore ottico è  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (nitruro di gallio alluminio, con  $0 \leq x \leq 1$ ) per la rivelazione di righe spettrali con lunghezza d'onda variabile tra 206 nm e 360 nm al variare di x.
- 7) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni da 1 a 4, caratterizzato dal fatto che la struttura costituente il sensore ottico è  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (nitruro di gallio indio, con



$0 \leq x \leq 1$ ) per la rivelazione di righe spettrali con lunghezza d'onda variabile tra 360 nm e 500 nm al variare di  $x$ .

8) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni da 1 a 4, caratterizzato dal fatto che la struttura costituente il sensore ottico è realizzata da pozzi quantici multipli di GaN/AlGa<sub>N</sub>, InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>.

9) Sistema ottico secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detto sensore con struttura Ga<sub>N</sub> massivo è così realizzato: sintesi del materiale fotosensibile tramite crescita epitassiale da fase vapore; trattamento termico, prima della crescita, del substrato di zaffiro (o SiC o Si) alla temperatura di 1100 °C in flusso di idrogeno (H<sub>2</sub>) ed alla pressione di 20 mBar per un tempo minimo di 15 minuti; crescita dello strato di nucleazione di Ga<sub>N</sub> con spessore compreso tra 20 nm e 200 nm a temperatura di 560 °C e pressione di 450 mbar in ambiente N<sub>2</sub>, con immissione nel reattore di flussi controllati dei precursori di crescita (ammoniaca gassosa (NH<sub>3</sub>) e trimetilgallio (TMGa)); trattamento termico di annealing dello strato di enucleazione, effettuato alla temperatura di 1100 °C in ambiente N<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub>; deposizione, a temperatura di 1150 °C e pressione di 50 mBar di Ga<sub>N</sub> (materiale fotosensibile) in ambiente H<sub>2</sub> con velocità di deposizione di 2 µm/h, con immissione di flussi controllati di NH<sub>3</sub> e TMGa; realizzazione sulla struttura epitassiale di contatti interdigitati tramite processi fotolitografici - standard;





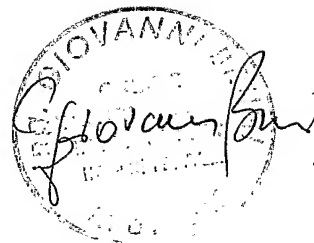
deposizione dei contatti metallici tramite evaporazione termica e/o da fascio elettronico.

5 10) Sistema ottico secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detto sensore con struttura Al(Ga)N massivo è ottenuto come descritto alla rivendicazione 9 con l'unica differenza che per la realizzazione del materiale fotosensibile (AlGaIn) ai flussi immessi viene aggiunto un flusso di trimetilalluminio (TMAI) e la temperatura di crescita può essere elevata fino a 1180 °C.

10 11) Sistema ottico secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detto sensore con struttura In(Ga)N massivo è ottenuto come descritto alla rivendicazione 9 con l'unica differenza che per la realizzazione del materiale fotosensibile (InGaIn) ai flussi immessi è aggiunto un flusso di trimetilindio (TMIn), la temperatura di crescita può essere ridotta (fino a 720 °C) e la crescita può avvenire in ambiente azoto.

20 12) Sistema ottico secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detto sensore con struttura a pozzi quantici multipli, costituiti da strati di GaN/Al(Ga)N, è ottenuto come descritto alla rivendicazione 9 con l'unica differenza che per la realizzazione del materiale fotosensibile si utilizza la seguente sequenza: crescita di uno strato buffer di GaN come da rivendicazione 9 con spessore minimo di 1 µm; crescita della barriera di Al(Ga)N come da rivendicazione 10 con

25





spessore minimo di 10 nm; crescita del pozzo quantico di GaN come da rivendicazione 9 con spessore dipendente dalla riga spettrale da rivelare e dal contenuto di Al nella barriera; ripetizione degli ultimi due passi per il numero di volte pari al numero di pozzi quantici necessari ad ottenere il desiderato grado di responsività del sensore ottico.

13) Sistema ottico secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detto sensore con struttura a pozzi quantici multipli, costituiti da strati di In(Ga)N/GaN, è ottenuto come descritto alla rivendicazione 9 con l'unica differenza che per la realizzazione del materiale fotosensibile si utilizza la seguente sequenza: crescita di uno strato buffer di GaN come da rivendicazione 9 con spessore minimo di 1  $\mu$ m; crescita della barriera di InGaN come da rivendicazione 11 con spessore minimo di 10 nm; crescita del pozzo quantico di GaN come da rivendicazione 9 con spessore dipendente dalla riga spettrale da rivelare e dal contenuto di In nella barriera; ripetizione degli ultimi due passi per il numero di volte pari al numero di pozzi quantici necessari ad ottenere il desiderato grado di responsività del sensore ottico.

14) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni da 5 a 8, caratterizzato dal fatto che detto materiale attivo è inserito in un dispositivo che presenta contatti co-planari metallo-semiconduttore-metallo.

15) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni da 5



a 8, caratterizzato dal fatto che detto materiale attivo presenta una eterostruttura con struttura p-i-n.

5 16) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni da 5 a 8, caratterizzato dal fatto che il dispositivo a cristallo fotonico ha una struttura a cavità verticale per la selezione di una singola riga di assorbimento atomico ed è realizzato direttamente durante la fase di crescita epitassiale; il risonatore è costituito dalla regione centrale del dispositivo, indicata come guida d'onda e contenente il materiale  
10 assorbente, inserita tra due riflettori alla Bragg.

15 17) Sistema ottico secondo la rivendicazione 16, caratterizzato dal fatto che la struttura è realizzata tramite crescita epitassiale da fase vapore, come descritto nella rivendicazione 9, con l'unica differenza che per la realizzazione del materiale fotosensibile si utilizza la seguente sequenza: a) crescita di uno strato buffer di GaN come da rivendicazione 9 con spessore minimo di 1  $\mu\text{m}$ ; b) crescita dello strato a basso indice di rifrazione (AlN) come da rivendicazione 10 di spessore pari a  $\lambda/4n_{\text{AlN}}$ , dove  $\lambda$  è la  
20 lunghezza d'onda di progetto e  $n_{\text{AlN}}$  è l'indice di rifrazione dell'AlN; c) crescita dello strato ad alto indice di rifrazione (GaN) come da rivendicazione 10 di spessore pari a  $\lambda/4n_{\text{GaN}}$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda di progetto e  $n_{\text{GaN}}$  è l'indice di rifrazione del GaN; d) ripetizione dei passi b) e c)  
25 per il numero di coppie di strati a diverso indice di rifrazione



necessario; e) crescita della cavità risonante (GaN) di spessore pari a  $\lambda/n\text{GaN}$ , o ad un multiplo intero di  $\lambda/2n\text{GaN}$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda di progetto e  $n\text{GaN}$  è l'indice di rifrazione del GaN; f) ripetizione dei passi b) e c) per il necessario numero di periodi.

18) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni da 5 a 8, caratterizzato dal fatto che la struttura del sensore ottico è basata su cristalli fotonici bidimensionali.

19) Sistema ottico secondo la rivendicazione 18, caratterizzato dal fatto che la struttura è realizzata come descritto in almeno una delle rivendicazioni da 9 a 12 (escludendo la deposizione degli elettrodi) con i seguenti passi tecnologici: deposizione di resist; realizzazione del pattern del cristallo fotonico per scrittura diretta tramite litografia da fascio elettronico e/o ottica ad alta risoluzione; trasferimento del pattern per la realizzazione di una matrice di fori nel materiale (o di colonne) con periodicità e diametro dipendenti dalla riga spettrale da rilevare tramite attacco fisico-chimico selettivo (RIE).

20) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che la funzione di selezione ottica è realizzata mediante la deposizione di multistrati dielettrici, successivamente alla crescita epitassiale del materiale attivo.

21) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni



precedenti, caratterizzato dal fatto che detta banda spettrale di risposta del sensore fotorivelatore è selezionabile mediante la combinazione dei due metodi di ingegnerizzazione elettronica e fotonica.

5 22) Sistema ottico secondo la rivendicazione 21, caratterizzato dall'inserimento di pozzi quantici operanti alla stessa lunghezza d'onda entro una microcavità ottica.

23) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che il dispositivo  
10 fotorivelatore è formato da una matrice di sensori ottici collegati fra loro affinché risultino pilotabili indipendentemente ed operanti a diverse frequenze spettrali.

24) Sistema ottico secondo la rivendicazione 23, caratterizzato dal fatto che l'array di sensori è formato da 5 elementi  
15 indipendenti costituiti da strutture realizzate come da rivendicazione 12, in cui gli spessori e/o la composizione degli strati dei pozzi quantici sono stati calcolati per rivelare una singola riga spettrale identificativa del CO nell'elemento 1, del CO2 nell'elemento 2, del NO nell'elemento 3, del NO2  
20 nell'elemento 4 e del O2 nell'elemento 5.

25) Sistema ottico secondo la rivendicazione 23, caratterizzato dal fatto che i singoli elementi dell'array sono costituiti da strutture realizzate come da rivendicazione 17, in cui gli spessori degli strati riflettenti e della cavità risonante sono  
25 stati calcolati per rivelare una singola riga spettrale





identificativa del gas da rivelare.

26) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni precedenti, per applicazioni automotive, montato sui condotti di scarico a monte del sistema di sovralimentazione (ove presente) e, comunque, il più vicino possibile allo scarico del propulsore.

27) Sistema ottico secondo la rivendicazione 26, caratterizzato dal fatto che il dispositivo fotorivelatore è del tipo a matrice e comprende un array di singoli sensori ottici ciascuno in grado di rivelare una singola lunghezza d'onda (o un stretta banda spettrale) che identifica in modo univoco una determinata specie gassosa presente nel gas di scarico. I dispositivi sono realizzati come descritto negli esempi 7 ed 8, o secondo una o più delle tecniche di selezione spettrale già descritte.

28) Procedimento di fotorivelazione e misurazione della concentrazione di specie gassose dei prodotti di combustione utilizzando un sistema ottico secondo la rivendicazione 27, comprendente le seguenti fasi: una lampada ad arco, posizionata frontalmente all'area sensibile dei sensori, eccita localmente il gas in transito tra sensore e lampada provocando l'emissione delle righe spettrali identificative delle specie gassose presenti; l'array di sensori rivela l'intensità delle specifiche righe spettrali mediante un segnale elettrico; il segnale è filtrato e condizionato in modo

da poter essere utilizzato come input del sistema di controllo retroazionato per il controllo dei parametri di processo, ovvero il numero di iniezioni e le modalità di iniezione del combustibile.

5 29) Sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni precedenti, predisposto per essere applicato al controllo della combustione nei motori due tempi ad accensione per compressione.

10 30) Sistema ottico secondo la rivendicazione 29, caratterizzato dal fatto che detto sensore è progettato per essere sensibile al tenore di ossigeno ed è realizzato secondo uno degli esempi realizzativi precedenti.

15 31) Sistema ottico secondo la rivendicazione 29 o 30, caratterizzato dal fatto che detto sensore è in contatto termico con un riscaldatore che ha la funzione di portare velocemente e mantenere elevata la temperatura del dispositivo per favorire la decomposizione dei residui incombusti e così evitare la deposizione di residui carboniosi e non.

20 32) Procedimento di fotorivelazione e misurazione della concentrazione di specie gassose dei prodotti di combustione nei motori due tempi ad accensione per compressione, utilizzando un sistema ottico secondo almeno una delle rivendicazioni da 29 a 31, comprendente le seguenti fasi: un segnale elettrico in uscita dal sensore permette in tempo reale  
25 di ricavare il tenore di ossigeno nei gas combusti e quindi di



calcolare con precisione la quantità di aria intrappolata nel cilindro; il segnale è filtrato e condizionato in modo da poter essere utilizzato come input del sistema di controllo retroazionato per il controllo dei parametri di iniezione.

5





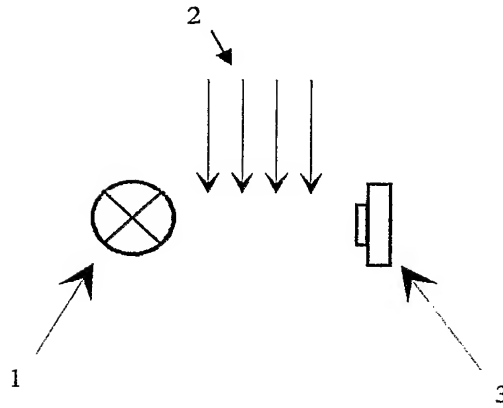


Fig. 1

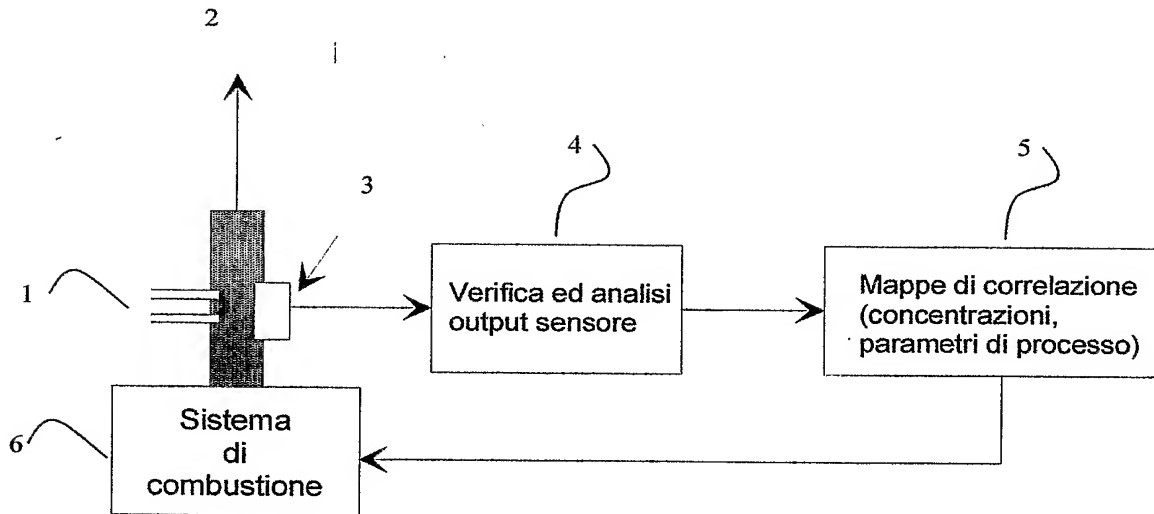


Fig. 2

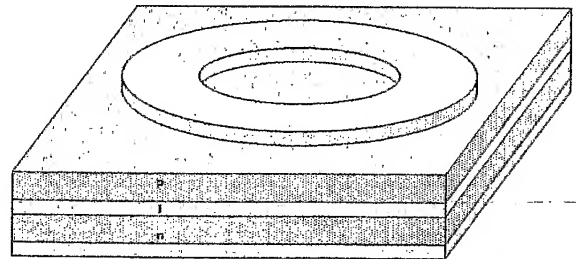
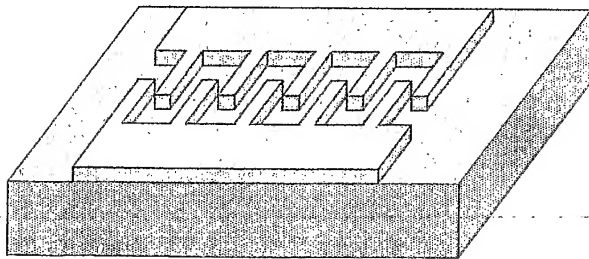


Fig. 3

GIOVANNI  
Giovanni  
LIBRARY

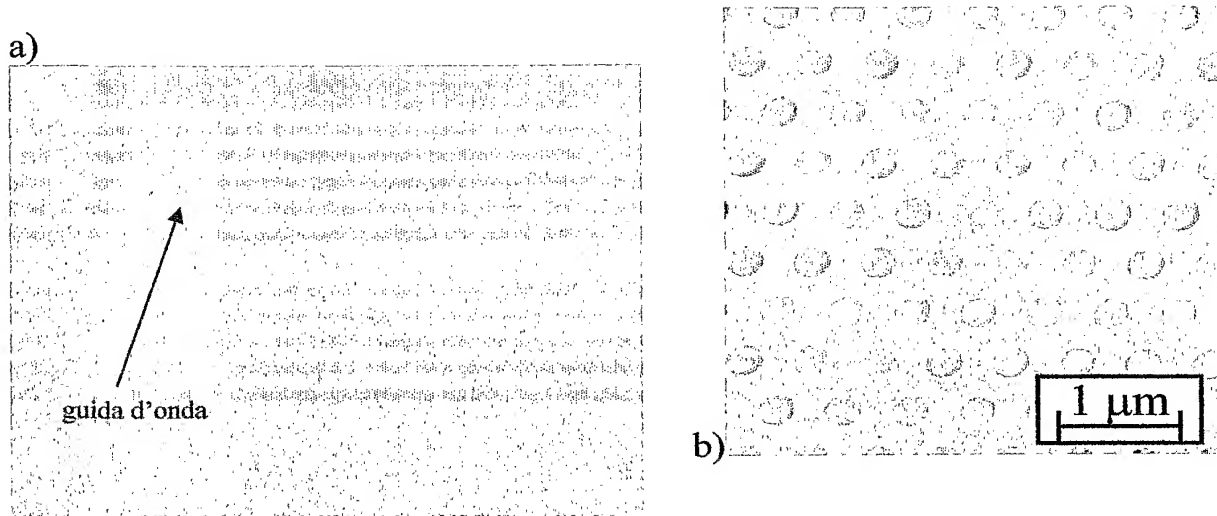


Fig. 4

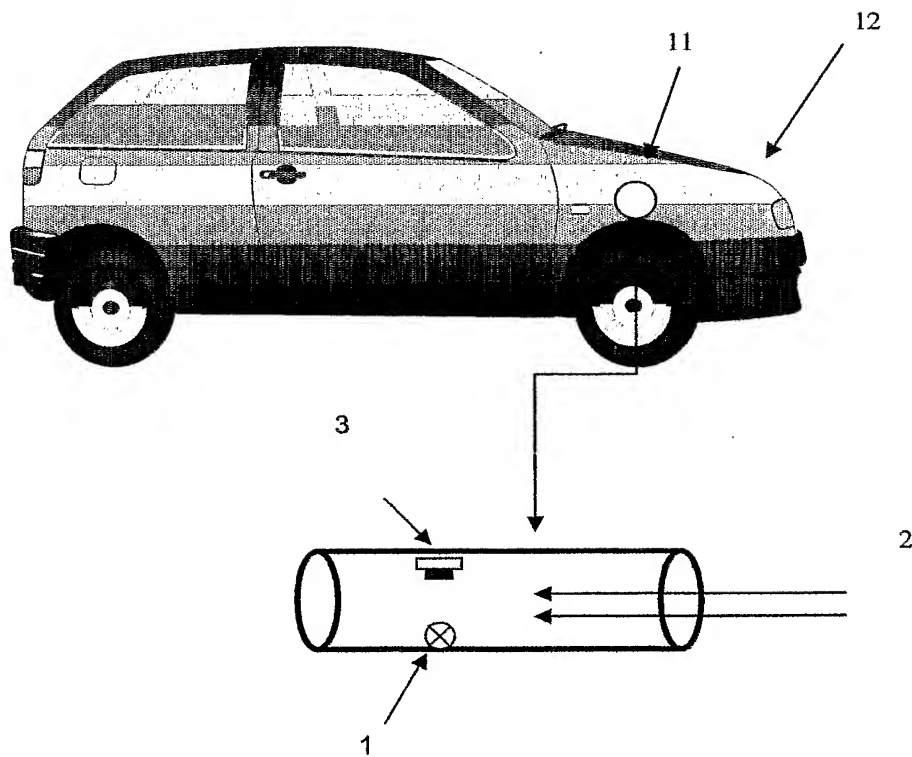


Fig. 5



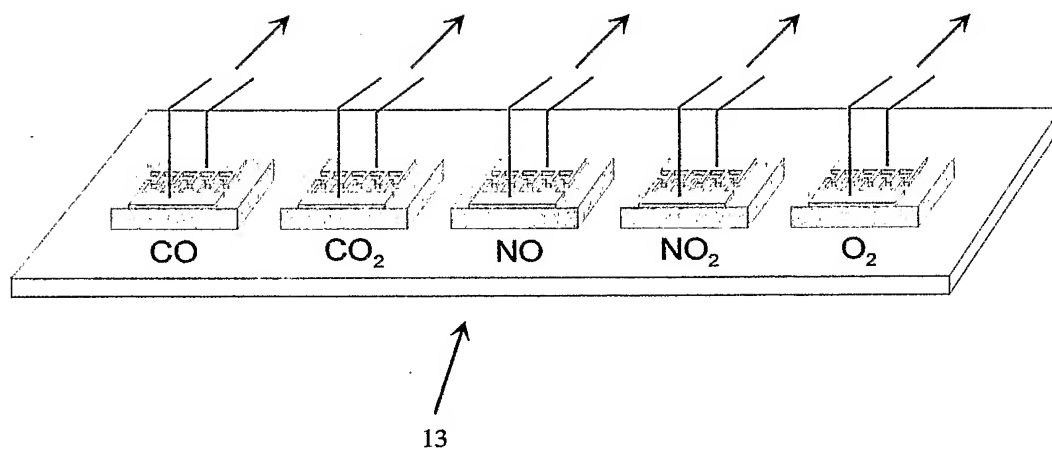


Fig. 6

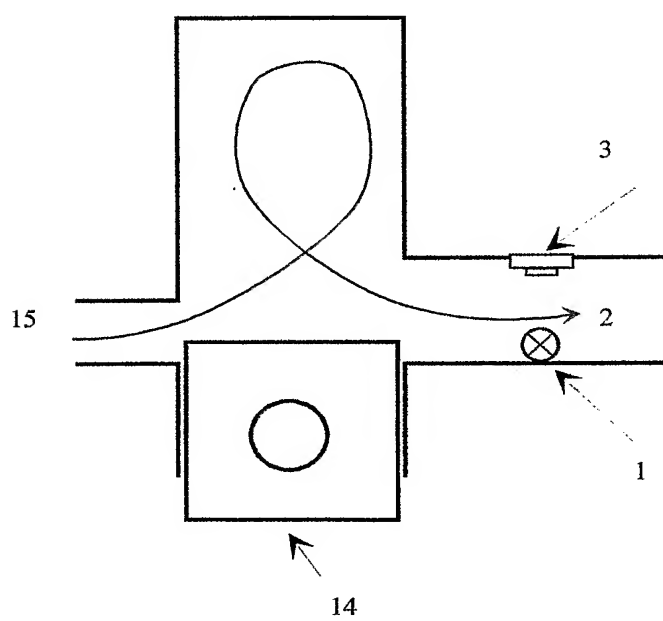


Fig. 7

